

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-314359

(43)Date of publication of application : 05.12.1995

(51)Int.Cl.

B25J 9/10  
B25J 9/04  
B25J 9/22  
B25J 13/08

(21)Application number : 06-117265

(71)Applicant : NIPPON TELEGR &amp; TELEPH CORP &lt;NTT&gt;

(22)Date of filing : 30.05.1994

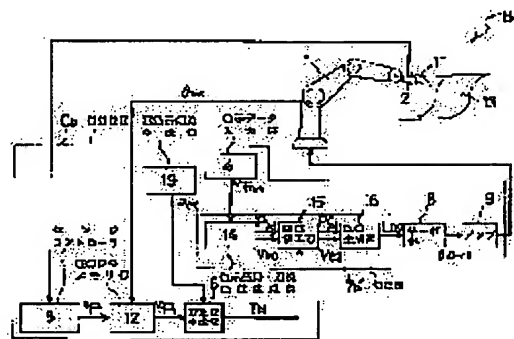
(72)Inventor : UMENO HIKARI  
KAKIZAKI TAKAO

## (54) FOLLOW-UP DEVICE FOR MANIPULATOR, AND CONTROL THEREOF

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To achieve high precision follow-up of a work route even in high speed work by calculating correction information based on a real teaching route when acuated at a desired speed to a displayed route, and work feature point positions obtained by detected position information from a sensor, and correcting the teaching route.

**CONSTITUTION:** A sensor 2 moves prior to an effector 11, and a work 13 is observed in order by commands at a constant cyclic period from a sensor controller 5 to detect work route points to be sent to a coordinates exchange/ memory part (memory part) 12. The memory part 12 converts feature points in a reference coordinates system using position information of the feature points calculated by the sensor controller 5, and position information of the effector 11 obtained based on joint position information  $\theta 1-6$  of a manipulator 1 at the time of detection by the sensor 2 to be memorized. A correction quantity generating part 6 forms correction information based on data in the memory part 12 and a real teaching route generated by a real teaching route generating part 19 at the time of off-line to be outputted to a route correcting part 15, which then corrects the route.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-314359

(43) 公開日 平成7年(1995)12月5日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 5 J	9/10	A		
	9/04	A		
	9/22	A		
	13/08	A		

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 14 頁)

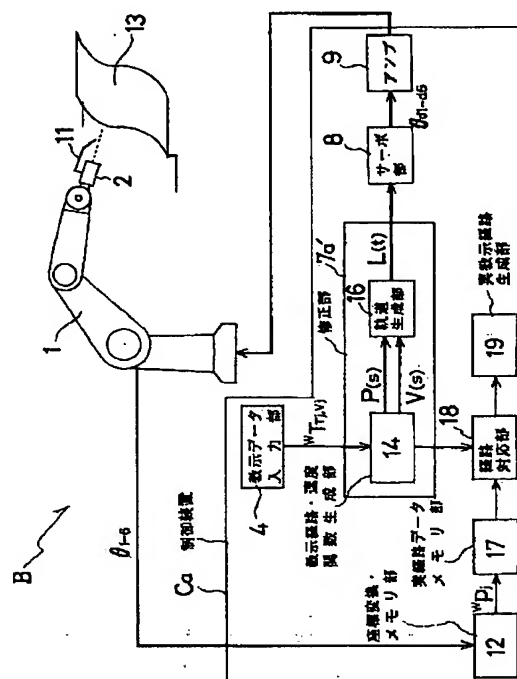
(21) 出願番号	特願平6-117265	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号
(22) 出願日	平成6年(1994)5月30日	(72) 発明者	梅野 光 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	柿崎 隆夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 菅 隆彦

(54) 【発明の名称】 マニピュレータ用追従装置およびその制御方法

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 高速作業時にも効果器を加工経路に高精度に追従させることが可能なマニピュレータ用追従装置及びその制御方法。

【構成】 制御装置Caに、教示データ入力部4と、センサ2からの信号を処理するセンサコントローラと、各関節の位置・姿勢情報を処理しかつオンライン時にはセンサコントローラからのセンサ信号を処理・記憶する座標変換・メモリ部12と、効果器11がたどる実教示経路に関する情報をオフライン時にはサーボ周期毎に検出し記憶する実経路データメモリ部17と、同ライン時には教示経路と実教示経路とを対応づけさせる経路対応部18と、経路対応部18に蓄積されたデータにより実教示経路データを生成する実教示経路生成部19と、実教示経路生成部19からの信号で修正量を生成する修正量生成部とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】対象を加工するための加工手段と当該加工手段近傍に設置され前記対象上の加工経路情報を検出する検出手段と前記加工手段及び当該検出手段を保持する多関節マニピュレータを具備し、予め与えられた教示データに基づいて決定される当該マニピュレータの動作指令を前記検出手段によって検出した加工対象の位置情報に基づいて修正しつつ実時間で加工経路に前記加工手段を追従自在にマニピュレータを移動させる制御手段を有する追従装置において、  
 当該制御手段に、  
 前記教示データを入力する教示データ入力部と、  
 オンライン時に前記センサからの信号を処理する検出手段コントローラと、  
 前記マニピュレータのサーボを各自有する各関節の位置・姿勢情報を処理しかつオンライン時には前記検出手段コントローラからの検出信号を座標系データに変換処理・記憶する座標変換・メモリ部と、  
 オフライン時に前記教示データに基づき実動した前記加工手段がたどる実教示経路に関する情報を前記サーボ周期毎に検出し記憶する実経路データメモリ部と、  
 前記教示データ通りの教示経路と前記実教示経路とを対応させる経路対応部と、  
 当該経路対応部に蓄積されたデータにより実教示経路データを生成する実教示経路生成部と、  
 オンライン時に当該実教示経路生成部からの信号で前記座標変換・メモリ部からの前記変換座標系データの修正量を算出する修正量生成部と、  
 オフライン時に前記教示データ入力部の教示データから決定される教示経路に関する関数を生成して前記経路対応部に出力するとともに、当該関数から直接前記加工手段軌道を算出出力し、オンライン時に前記修正量生成部からの信号で修正された前記教示経路関数から前記加工手段の目標軌道を算出出力する修正部と、  
 を備えることを特徴とするマニピュレータ用追従装置。

【請求項 2】対象を加工するための加工手段と当該加工手段近傍に設置され前記対象上の加工経路情報を検出する検出手段と前記加工手段及び当該検出手段を保持する多関節マニピュレータを具備し、予め与えられた教示データに基づいて決定される当該マニピュレータの動作指令を前記検出手段によって検出した加工対象の位置情報に基づいて修正しつつ実時間で加工経路に前記加工手段を追従させるようにマニピュレータを移動させる制御手段を有する追従装置において、  
 当該制御手段に、  
 前記教示データを入力する教示データ入力部と、  
 オンライン時に前記検出手段からの信号を処理する検出手段コントローラと、  
 前記マニピュレータのサーボを各自有する各関節の位置・姿勢情報を処理しかつオンライン時には前記検出手段

コントローラからの検出信号を座標系データに変換処理・記憶する座標変換・メモリ部と、  
 オフライン時に前記教示データに基づき実動した前記加工手段がたどる実教示経路に関する情報を前記サーボ周期毎に検出し記憶する実経路データメモリ部と、  
 前記教示データ通りの教示経路と前記実教示経路とを対応させる経路対応部と、  
 オンライン時に当該経路対応部からの信号で前記座標変換・メモリ部からの前記変換座標系データの修正量を算出する修正量生成部と、  
 オフライン時に前記教示データ入力部の前記教示データから決定される前記教示経路に関する関数を生成して前記経路対応部に出力するとともに当該関数から直接前記加工手段軌道を算出出力し、オンライン時に前記修正量生成部からの信号で修正された前記教示経路関数から直接前記加工手段の目標軌道を算出出力する修正部と、  
 を備えることを特徴とするマニピュレータ用追従装置。

10

20

30

40

50

【請求項 3】修正部は、  
 教示データ入力部の教示データから決定される教示経路に関する関数を生成する教示経路・速度関数生成部と、  
 オンライン時に当該教示経路・速度関数生成部及び修正量生成部からの信号で前記教示経路関数の修正を演算決定する経路修正部と、  
 オフライン時には前記教示経路速度関数生成部から直接の信号でかつオンライン時には前記経路修正部からの加工手段の目標軌道を算出出力する軌道生成部と、  
 を有することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のマニピュレータ用追従装置。

【請求項 4】加工手段と検出手段は、それぞれ加工処理を行う効果器としての溶接トーチと位置と角度を検出可能なセンサとしての視覚センサであることを特徴とする請求項 1、2 又は 3 記載のマニピュレータ用追従装置。

【請求項 5】対象を加工するための加工手段と当該加工手段近傍に設置され前記対象上の加工経路情報を検出する検出手段と前記加工手段及び当該検出手段を保持する多関節マニピュレータにおいて、予め与えられた教示データに基づいて決定される当該マニピュレータの動作指令を前記検出手段によって検出した加工対象の位置情報に基づいて修正しつつ実時間で加工経路に前記加工手段を追従させるように前記マニピュレータを駆動させるに当たり、  
 前記教示データから決定される教示経路と目標速度とからなる動作指令値で前記マニピュレータを動作させた際に前記加工手段がたどる実教示経路と前記教示データに基づいた前記教示経路の対応づけにより、前記各教示経路中の教示点に対応する実教示経路中の実教示点で実教示経路関数を予め作成し、  
 作業実行時に前記検出手段から時系列的に得られる検出位置情報と、前記実教示経路関数上の点との対応づけによって算出した修正情報で前記教示経路を逐次修正す

る、  
ことを特徴とするマニピュレータ用追従制御方法。

【請求項 6】対象を加工するための加工手段と当該加工手段近傍に設置され前記対象上の加工経路情報を検出する検出手段と前記加工手段及び当該検出手段を保持する多関節マニピュレータにおいて、予め与えられた教示データに基づいて決定される当該マニピュレータの動作指令を前記検出手段によって検出した加工対象の位置情報に基づいて修正しつつ実時間で加工経路に前記加工手段を追従させるようにマニピュレータを駆動させるに当たり、

前記教示データから決定される教示経路と目標速度とからなる動作指令値で前記マニピュレータを動作させた際に前記加工手段がたどる実教示経路上の点と前記教示データに基づいた前記教示経路上の点との対応づけを予め行い、  
作業実行時には前記検出手段から時系列的に得られる複数の検出位置情報と、前記実教示経路上の点と、の対応づけによって算出した修正情報で前記教示経路を逐次修正する、

ことを特徴とするマニピュレータ用追従制御方法。

【請求項 7】動作指令値は、教示データに基づき、加工開始点から経路長をパラメータとして演算した位置・姿勢に関する教示経路関数値および目標速度関数値であって、経路長に関する 2 階微分の連続性まで保証する 3 次関数の係数行列で表現されることを特徴とする請求項 5 又は 6 記載のマニピュレータ用追従制御方法。

【請求項 8】実教示経路と教示経路の対応づけは、実教示経路長の教示経路長に対する伸縮率を求め、当該伸縮率を用い各教示点までの経路長に対応する実教示経路の経路長を演算して当該実教示経路において最も近接する点のその時の位置と姿勢を定めて行き、最後に当該近接点群データを用いて教示経路関数に対応する実教示経路関数を算出する、  
ことを特徴とする請求項 5、6 又は 7 記載のマニピュレータ用追従制御方法。

【請求項 9】教示経路との対応づけの実教示経路上の点は、多関節マニピュレータの各関節に備わるサーボ周期毎に検出されることを特徴とする請求項 5、6、7 又は 8 記載のマニピュレータ用追従制御方法。

【請求項 10】検出手段の検出位置情報と実教示経路上の点との対応づけは、

まず、前記検出手段の検出に基づく一定周期の加工経路上の特徴点の位置情報と、当該検出時の多関節マニピュレータの関節位置情報から得られる加工手段の位置情報とを用いて当該加工経路上の特徴点の位置ベクトルを基準座標系のベクトルへと変換し、

次いで、当該特徴点ベクトル群および実教示データを用いて両位置の並進成分および基準座標系の鉛直方向軸回りの回転成分について前記加工経路と前記実教示経路と

の誤差から修正量を各対応点につき算出する、  
ことを特徴とする請求項 5、6、7、8 又は 9 記載のマニピュレータ用追従制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、機械加工対象である加工ワーク上の加工経路をセンサによって検出し、その情報と、効果器のたどる実教示経路情報とから算出される修正情報に基づいて、予め与えられた教示経路を逐次修正することにより、マニピュレータに搭載された効果器を高精度に加工経路に追従させるためのマニピュレータ用追従装置およびその制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】センサを用いてマニピュレータを加工経路に追従させる技術は、不確定性のある環境下での作業遂行のために最も重要な技術とされ、多くの研究が重ねられてきた。

【0003】たとえば、工業用ロボットの空間曲線ならい制御（浅田、花房、計測自動制御学会論文集、第 16 巻、第 5 号、pp126-132,1980）では、センサによるフィードバック制御を補助する目的でオフライン経路情報を用い、加工経路を事前情報として制御系の補償器を設計して、センサフィードバック制御の効果を検討している。

【0004】近年は、この中でも実績のある教示再生方式の利点を生かした形で、予め教示されたデータに基づく動作指令をセンサデータによって修正するという技術が導入されつつある。

【0005】この種のあるいはそれに準ずる装置に関する代表的な従来技術としては、たとえば以下のものがある。即ち、溶接ロボット用レーザ視覚センサ〔平井、柴田、（株）日立製作所）、アーク溶接における検出と制御、溶接学会編、1990〕では、視覚センサによって検出される溶接線位置を用いて、予め教示された経路を修正する方法が示されている。

【0006】以下に図面を用いて、従来技術を示す。図 5（a）は当該従来技術の構成を示すブロック図であって、図 5（b）は経路修正過程を示す図である。図中、A は制御装置、1 は多関節マニピュレータ、2 はマニピュレータ 1 先端に装着されたセンサ、3 は溶接トーチ、4 は教示データ入力部、5 はセンサコントローラ、6 は修正量生成部、7 は修正部、8 はサーボ部、9 はアンプ、10 は溶接線である。

【0007】図 5（a）において、センサ 2 が溶接トーチ 3 に対して常に先行するように、教示データを教示データ入力部 4 から入力し、当該教示データに基づいて教示経路を予め設定する。

【0008】マニピュレータ 1 が当該教示経路に従って動作を開始すると、センサ 2 は溶接線 10 上の点を検出して、検出信号をセンサコントローラ 5 へ送出する。

【0009】修正量生成部6では、センサコントローラ5からの検出位置情報と溶接トーチ3の位置情報とからマニピュレータ1の修正量を算出する。

【0010】修正部7では、修正量生成部6の修正量と前記教示データとから修正経路を生成し、当該修正経路に基づきマニピュレータ1を制御する。

【0011】修正部7における修正経路の生成過程を図5(b)を用いて説明する。センサコントローラ5の検出位置情報が示す溶接線10上の溶接特徴点 $M_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) の位置と教示経路に基づく溶接トーチ3の位置とから、溶接特徴点 $M_i$  との距離を算出し、当該距離が極小となる点を溶接トーチ3が通過した時点で、当該教示経路を平行移動し、修正経路を生成する。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記の従来技術には、次のような問題点があった。前記従来技術においては、検出位置情報と教示経路のみを用いて修正経路情報を算出・生成する。

【0013】しかし、一般には、ダイナミクスあるいは演算速度限界によって、効果器がたどる実教示経路が教示経路と一致することはなく、特に、目標速度が高速になるに伴い、教示経路と実教示経路との誤差が顕在化することが広く知られている。

【0014】このため、一般には、実教示経路が加工経路上の近傍を追従するように、予め加工経路からずらして教示データを作成するという対策が講じられている。

【0015】しかし、この場合、教示経路と実教示経路とは、位置・姿勢のみならず経路長まで異なるため、教示経路と加工経路のみを対応づけることで算出した修正情報で教示経路を修正する方法では、十分な精度を得ることが不可能であった。その結果、従来技術を高速な追従速度が要求される作業へ導入すると、加工特徴位置と加工経路との誤差が顕在化するという致命的な欠陥が生じる。

【0016】ここにおいて、本発明の主要な目的は、以下に列挙する通りである。本発明の第1の目的は、高速作業時にも加工手段を加工経路に高精度に追従させることが可能なマニピュレータ用追従装置及びその制御方法を提供せんとするものである。

【0017】本発明の第2の目的は、高速な目標速度が要求される作業において、予め与えられた教示経路と目標速度とからなる動作指令値を多関節マニピュレータに与えた際に、教示経路に対して加工手段としての効果器がたどる実教示経路の誤差により、教示経路を検出位置情報で修正する方法では、当該効果器を経路に高精度に追従させることが困難であった点を解決することが可能なマニピュレータ用追従装置及びその制御方法を提供せんとするものである。

【0018】本発明の他の目的は、明細書、図面、特に特許請求の範囲の記載から自づと明らかになるであろ

う。

【0019】

【課題を解決するための手段】前記課題の解決は、本発明が次に列挙する新規な特徴的構成手段及び手法を採用することにより達成される。すなわち、本発明装置の第1の特徴は、対象を加工するための加工手段と当該加工手段近傍に設置され前記対象上の加工経路情報を検出する検出手段と前記加工手段及び当該検出手段を保持する多関節マニピュレータを具備し、予め与えられた教示データに基づいて決定される当該マニピュレータの動作指令を前記検出手段によって検出した加工対象の位置情報に基づいて修正しつつ実時間で加工経路に前記加工手段を追従自在にマニピュレータを移動させる制御手段を有する追従装置において、当該制御手段に、前記教示データを入力する教示データ入力部と、オンライン時に前記センサからの信号を処理する検出手段コントローラと、前記マニピュレータのサーボを各自有する各関節の位置・姿勢情報を処理しかつオンライン時には前記検出手段コントローラからの検出信号を座標系データに変換処理・記憶する座標変換・メモリ部と、オフライン時に前記教示データに基づき実動した前記加工手段がたどる実教示経路に関する情報を前記サーボ周期毎に検出し記憶する実経路データメモリ部と、前記教示データ通りの教示経路と前記実教示経路とを対応させる経路対応部と、当該経路対応部に蓄積されたデータにより実教示経路データを生成する実教示経路生成部と、オンライン時に当該実教示経路生成部からの信号で前記座標変換・メモリ部からの前記変換座標系データの修正量を算出する修正量生成部と、オフライン時に前記教示データ入力部の教示データから決定される教示経路に関する関数を生成して前記経路対応部に出力するとともに、当該関数から直接前記加工手段軌道を算出出力し、オンライン時に前記修正量生成部からの信号で修正された前記教示経路関数から前記加工手段の目標軌道を算出出力する修正部と、を備えてなるマニピュレータ用追従装置である。

【0020】本発明装置の第2の特徴は、対象を加工するための加工手段と当該加工手段近傍に設置され前記対象上の加工経路情報を検出する検出手段と前記加工手段及び当該検出手段を保持する多関節マニピュレータを具備し、予め与えられた教示データに基づいて決定される当該マニピュレータの動作指令を前記検出手段によって検出した加工対象の位置情報に基づいて修正しつつ実時間で加工経路に前記加工手段を追従させるようにマニピュレータを移動させる制御手段を有する追従装置において、当該制御手段に、前記教示データを入力する教示データ入力部と、オンライン時に前記検出手段からの信号を処理する検出手段コントローラと、前記マニピュレータのサーボを各自有する各関節の位置・姿勢情報を処理しかつオンライン時には前記検出手段コントローラからの検出信号を座標系データに変換処理・記憶する座標変

換・メモリ部と、オフライン時に前記教示データに基づき実動した前記加工手段がたどる実教示経路に関する情報を前記サーボ周期毎に検出し記憶する実経路データメモリ部と、前記教示データ通りの教示経路と前記実教示経路とを対応させる経路対応部と、オンライン時に当該経路対応部からの信号で前記座標変換・メモリ部からの前記変換座標系データの修正量を算出する修正量生成部と、オフライン時に前記教示データ入力部の前記教示データから決定される前記教示経路に関する関数を生成して前記経路対応部に出力するとともに当該関数から直接前記加工手段軌道を算出出力し、オンライン時に前記修正量生成部からの信号で修正された前記教示経路関数から前記加工手段の目標軌道を算出出力する修正部と、を備えてなるマニピュレータ用追従装置である。

【0021】本発明装置の第3の特徴は、前記本発明の第1又は第2の特徴における修正部が、教示データ入力部の教示データから決定される教示経路に関する関数を生成する教示経路・速度関数生成部と、オンライン時に当該教示経路・速度関数生成部及び修正量生成部からの信号で前記教示経路関数の修正を演算決定する経路修正部と、オフライン時には前記教示経路・速度関数生成部から直接の信号でかつオンライン時には前記経路修正部からの加工手段の目標軌道を算出出力する軌道生成部と、を有してなるマニピュレータ用追従装置である。

【0022】本発明装置の第4の特徴は、前記本発明装置の第1、第2又は第3の特徴における加工手段と検出手段が、それぞれ加工処理を行う効果器としての溶接トーチと位置と角度を検出可能なセンサとしての視覚センサであるマニピュレータ用追従装置である。

【0023】本発明方法の第1の特徴は、対象を加工するための加工手段と当該加工手段近傍に設置され前記対象上の加工経路情報を検出する検出手段と前記加工手段及び当該検出手段を保持する多関節マニピュレータにおいて、予め与えられた教示データに基づいて決定される当該マニピュレータの動作指令を前記検出手段によって検出した加工対象の位置情報に基づいて修正しつつ実時間で加工経路に前記加工手段を追従させるように前記マニピュレータを駆動させるに当たり、前記教示データから決定される教示経路と目標速度とからなる動作指令値で前記マニピュレータを動作させた際に前記加工手段がたどる実教示経路と前記教示データに基づいた前記教示経路の対応づけにより、前記各教示経路中の教示点に対応する実教示経路中の実教示点で実教示経路関数を予め作成し、作業実行時に前記検出手段から時系列的に得られる検出位置情報と、前記実教示経路関数上の点との対応づけによって算出した修正情報で前記教示経路を逐次修正してなるマニピュレータ用追従制御方法である。

【0024】本発明方法の第2の特徴は、対象を加工するための加工手段と当該加工手段近傍に設置され前記対象上の加工経路情報を検出する検出手段と前記加工手段

及び当該検出手段を保持する多関節マニピュレータにおいて、予め与えられた教示データに基づいて決定される当該マニピュレータの動作指令を前記検出手段によって検出した加工対象の位置情報に基づいて修正しつつ実時間で加工経路に前記加工手段を追従させるようにマニピュレータを駆動させるに当たり、前記教示データから決定される教示経路と目標速度とからなる動作指令値で前記マニピュレータを動作させた際に前記加工手段がたどる実教示経路上の点と前記教示データに基づいた前記教示経路上の点との対応づけを予め行い、作業実行時には前記検出手段から時系列的に得られる複数の検出位置情報と、前記実教示経路上の点と、の対応づけによって算出した修正情報で前記教示経路を逐次修正してなるマニピュレータ用追従制御方法である。

【0025】本発明方法の第3の特徴は、前記本発明方法の第1又は第2の特徴における動作指令値が、教示データに基づき、加工開始点から経路長をパラメータとして演算した位置・姿勢に関する教示経路関数値および目標速度関数値であって、経路長に関する2階微分の連続性まで保証する3次関数の係数行列で表現されてなるマニピュレータ用追従制御方法である。

【0026】本発明方法の第4の特徴は、前記本発明方法の第1、第2又は第3の特徴における実教示経路と教示経路の対応づけが、実教示経路長の教示経路長に対する伸縮率を求め、当該伸縮率を用い各教示点までの経路長に対応する実教示経路の経路長を演算して当該実教示経路において最も近接する点のその時の位置と姿勢を定めて行き、最後に当該近接点群データを用いて教示経路関数に対応する実教示経路関数を算出してなるマニピュレータ用追従制御方法である。

【0027】本発明方法の第5の特徴は、前記本発明方法の第1、第2、第3又は第4の特徴における教示経路との対応づけの実教示経路上の点が、多関節マニピュレータの各関節に備わるサーボ周期毎に検出されるマニピュレータ用追従制御方法である。

【0028】本発明方法の第6の特徴は、前記本発明方法の第1、第2、第3、第4又は第5の特徴における検出手段の検出位置情報と実教示経路上の点との対応づけが、まず、前記検出手段の検出に基づく一定周期の加工経路上の特徴点の位置情報と、当該検出時の多関節マニピュレータの関節位置情報から得られる加工手段の位置情報とを用いて当該加工経路上の特徴点の位置ベクトルを基準座標系のベクトルへと変換し、次いで、当該特徴点ベクトル群および実教示データを用いて両位置の並進成分および基準座標系の鉛直方向軸回りの回転成分について前記加工経路と前記実教示経路との誤差から修正量を各対応点につき算出してなるマニピュレータ用追従制御方法である。

【0029】

【作用】本発明は、前記のような新規な手段及び手法を





11

12

また、 $s_j$ ,  $\tilde{s}_j$  をそれぞれ、作業開始点から教示経路上の点  ${}^\omega Q_{T,j}$  及び

【外 6】

実教示経路上の点  ${}^\omega \tilde{Q}_{AT,1}$  までの経路長とする。

【0042】まず、教示データより作業開始点から終了点までの経路長  $s_{\max}$  を次式 (1) により算出する。

【0043】

【外 7】

【数 1】

10

$$s_{\max} = \sum_{k=1}^n \| {}^\omega p_{T,j} - {}^\omega p_{T,j-1} \| \quad \dots (1)$$

一方、実教示経路の作業開始点から終了点までの経路長  $\tilde{s}_{\max}$  を次式 (2) に

より算出する。

【数 2】

$$\tilde{s}_{\max} = \sum_{k=1}^m \| {}^\omega \tilde{p}_{AT,k} - {}^\omega \tilde{p}_{AT,k-1} \| \quad \dots (2)$$

【0044】そして、式 (1) 及び式 (2) により、経路長の伸縮率  $\alpha$  を、

長  $s_j$  に対応する実教示経路の

【外 8】

経路長  $\hat{s}_j$  を、

【数 3】

$$\alpha = \frac{s_{\max}}{\tilde{s}_{\max}} \quad \dots (3)$$

【数 4】

$$\hat{s}_j = \alpha s_j \quad \dots (4)$$

により求める。

により算出し、

【0045】この伸縮率  $\alpha$  を用い、各教示点までの経路

【外 9】

実教示経路において経路長  $\hat{s}_j$  に最も近接する点を  ${}^\omega \hat{Q}_{T,j}$  とし、

そのときの位置と姿勢を

【外 10】

${}^\omega \hat{T}_{T,j}$  と定める、最後に  ${}^\omega \hat{T}_{T,j}$  ( $j=0,1,2,\dots,n$ ) を用いて、

【外 11】

教示経路と同様の手順により、実教示経路関数  $\hat{P}_T(\tilde{s})$  を算出する。

【0046】以上の処理をオフラインで行った後、マニピュレータ 1 を動作させて、以下に説明するオンライン作業を実行する。オンライン作業では、図 2 に示すごとく、マニピュレータ 1 に保持されるセンサ 2 は効果器 11 に先だって移動し、検出手段コントローラとしてのセンサコントローラ 5 からの一定周期の命令によりセンサ 2 は三角測量を用いて加工ワーク 13 を逐次観測し、加工経路点を検出する。

【0047】例えば、加工経路断面が V 字形の場合には、経路断面を V 字形を構成する 2 つの直線で近似す

る。そして、交差する角の位置を効果器 11 のねらう特徴点として決定し、特徴点の位置情報と共に座標変換・メモリ部 12 へ送出する。

【0048】座標変換・メモリ部 12 では、センサコントローラ 5 で算出された特徴点の位置情報と、センサ 2 検出時におけるマニピュレータ 1 の関節位置情報  $\theta_m$  ( $m=1,2,\dots,6$ ) から得られる効果器 11 の位置情報とを用いて、加工経路上の特徴点を基準座標系へと変換し記憶する。つまり特徴点の位置ベクトル  ${}^s p_c$  を基準座標系のベクトル  ${}^\omega p_c$  に変換し記憶する。



【0049】 センサ 2 の検出周期毎に得られるこれらの 【外 12】

特徴点ベクトル群  $\omega_{p_{c,1}}, \dots,$

$\omega_{p_{c,i+m}}$  および実教示データ  $\omega_{\hat{T}_{T,j}}$  を用いて

修正量生成部 6 では修正量を実時間で算出する。

加工ワーク 13 上の加工経路

【0050】 具体的には、位置の並進成分および基準座  
標系の鉛直方向である Z 軸回りの回転成分について、

【外 13】

$P_C(\tilde{s})$  と実教示経路  $\hat{P}_T(\tilde{s})$  との誤差から修正量を算出し、

【外 14】

$\hat{P}_T(\tilde{s})$  を修正する。

【0051】 (i) 実教示経路と加工経路との対応づけ  
実教示経路と加工経路の対応する任意の点

【外 15】

修正量の算出アルゴリズムは以下の通りである。

$\tilde{s} = s_i$  における位置を、それぞれ  $\omega_{\hat{p}_{T,i}}, \omega_{p_{c,i}}$  とおくと、両者には

次の関係が成り立つ。

【0052】 ここに、 $T_{CT}$  は教示経路を加工経路に写  
像する修正関数で、修正量を算出することは

【数 5】

$$\omega_{p_{c,i}} = T_{CT} \omega_{\hat{p}_{T,i}} \quad \dots (5)$$

【外 16】

この修正行列  $T_{CT}$  を算出することに他ならない。いま、 $s = \tilde{s}_i$  の

教示データの位置情報を、

【数 6】

$$\omega_{\hat{p}_{T,i}} = [\omega_{\hat{p}_{T,i,x}}, \omega_{\hat{p}_{T,i,y}}, \omega_{\hat{p}_{T,i,z}}, 1]^T \quad \dots (6)$$

【数 7】

$$\omega_{\hat{p}_{C,i}} = [\omega_{\hat{p}_{C,i,x}}, \omega_{\hat{p}_{C,i,y}}, \omega_{\hat{p}_{C,i,z}}, 1]^T \quad \dots (7)$$

と表し、修正情報を

と表す。

【数 8】

【0053】

【外 17】

$$T_{CT} = \begin{bmatrix} R_{CT} & P_{CT} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & -R_{21} & 0 & p_x \\ R_{21} & R_{11} & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

更に、ここで経路パラメータ  $\tilde{s}$  は加工経路の経路長であるから、経路開始点

【外 18】

$\tilde{s} = 0$  から第 i 番目の検出で検出された加工経路上の点までの道のり  $\tilde{s} = \hat{s}_i$  は

視覚センサ 2 の検出周期が十分短いため各検出点ごとの  
直線近似が可能であり、

【数 9】

$$\begin{aligned}\hat{s}_i &= \sum_{k=1}^i (||^{\omega} p_{C,i} - ^{\omega} p_{C,i-1} ||) \\ &= \sum_{k=1}^i ((^{\omega} p_{C,ix} - ^{\omega} p_{C,i-1x})^2 + (^{\omega} p_{C,iy} - ^{\omega} p_{C,i-1y})^2 + (^{\omega} p_{C,iz} - ^{\omega} p_{C,i-1z})^2)^{1/2} \quad (9)\end{aligned}$$

となる。

【外 19】

これにより、実教示経路上で  $\tilde{s} = \hat{s}_i$  となる点をこの検出点に対応づけること

が可能となる。

10  $p_y, p_z$  を算出する。センサ 2 からの検出位置情報から加工経路上の

【0054】 (ii) 修正行列  $T_{AT}$  の算出

まず、前項 (i) の対応づけ手法を用いて実教示経路と

【外 20】

加工経路上の 2 組の点の対応づけにより並進成分  $p_x$  .

2 点  $\tilde{s} = \hat{s}_{i-1}$ 、 $\tilde{s} = \hat{s}_i$  が観測されると、前述の式 (5) より

【数 10】

$$^{\omega} p_{C,i-1} = T_{CT}^{\omega} \hat{p}_{T,i-1} \quad \dots (10)$$

が得られる。

【0055】そして、式 (10) 及び式 (11) より、

【数 12】

【数 11】

$$^{\omega} p_{C,i} = T_{CT}^{\omega} \hat{p}_{T,i} \quad \dots (11)$$

20

$$p_x = ^{\omega} p_{A,i-1x} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1x} R_{11} + ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1y} R_{21} \quad \dots (12)$$

【数 13】

$$p_y = ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1y} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1x} R_{21} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1y} R_{11} \quad \dots (13)$$

【数 14】

$$p_z = \frac{(^{\omega} p_{C,i-1z} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1z}) + (^{\omega} p_{C,iz} - ^{\omega} \hat{p}_{T,iz})}{2} \quad \dots (14)$$

ただし、 $p_z$  は検出誤差を考慮して算出している。

(a)  $^{\omega} \hat{p}_{T,iy} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1y} \neq 0$  の場合

【0056】次に回転成分  $R_{11}$ 、 $R_{21}$  を求める。式

(11)、(12)、(13) から以下の回転要素を得

る。

【数 15】

【外 21】

$$R_{11} = \frac{(^{\omega} \hat{p}_{T,iy} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1y})(^{\omega} p_{C,iy} - ^{\omega} p_{C,i-1y}) + (^{\omega} \hat{p}_{T,ix} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1x})(^{\omega} p_{C,ix} - ^{\omega} p_{C,i-1x})}{(^{\omega} \hat{p}_{T,iy} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1y})^2 + (^{\omega} \hat{p}_{T,ix} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1x})^2} \quad \dots (15)$$

【数 16】

$$R_{21} = \frac{(^{\omega} \hat{p}_{T,ix} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1x})}{(^{\omega} \hat{p}_{T,iy} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1y})} R_{11} - \frac{(^{\omega} p_{C,ix} - ^{\omega} p_{C,i-1x})}{(^{\omega} \hat{p}_{T,iy} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1y})} \quad \dots (16)$$

【0057】

(b-1)  $^{\omega} \hat{p}_{T,ix} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1x} \neq 0$  の場合

【外 22】

(b)  $^{\omega} \hat{p}_{T,iy} - ^{\omega} \hat{p}_{T,i-1y} = 0$  の場合

【数 17】

【外 23】

17

$$R_{11} = \frac{(\omega p_{C,tx} - \omega p_{C,t-1x})}{(\omega \hat{p}_{T,tx} - \omega \hat{p}_{T,t-1x})} \dots (17)$$

【数 18】

$$R_{21} = \frac{(\omega p_{C,ty} - \omega p_{C,t-1y})}{(\omega \hat{p}_{T,tx} - \omega \hat{p}_{T,t-1x})} \dots (18)$$

【0058】

【外 24】

$$(b-2) \omega \hat{p}_{T,ix} - \omega \hat{p}_{T,i-1x} = 0 \text{ の場合}$$

そこで、 $\tilde{s} = \tilde{s}_i$  までに得られた N 個の変換行列を、

$T_{CT,k}$  ( $k = i - (N-1), i - (N-1) + 1, \dots, i$ ) とおき、さらに各検出位置情報の最小自乗

法により、

【外 26】

$\tilde{s} = \tilde{s}_i$  における最適な変換行列  $T_{M,i}$  を求める。

20

【0061】  $T_{M,i}$  を

【数 19】

$$T_{M,i} = \begin{bmatrix} R_{m,i} & p_{M,i} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{M,i,11} & -R_{M,i,21} & 0 & p_x \\ R_{M,i,21} & R_{M,i,11} & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots (19)$$

30

とおく。

【0062】すると、並進成分  $p_{M,i}$  は、

【数 20】

$$p_{M,i,x} = \frac{\sum_{k=i-(N-1)}^i p_{CT,k,x}}{N} \dots (20)$$

【数 21】

$$p_{M,i,y} = \frac{\sum_{k=i-(N-1)}^i p_{CT,k,y}}{N} \dots (21)$$

【数 22】

$$\theta_{CT,Z,k} = \text{atan2}(R_{CT,k,21}, R_{CT,k,11}), \dots (25)$$

( $-\pi < \theta_{CT,Z,k} \leq \pi$ )

【数 25】

【数 26】

18

教示経路が  $Z_0$  の方向と一致している場合であり、位置情報のみでは  $T_{CT}$  を算出できないが、実作業ではこのような特殊な経路が長区間にわたって存在することは希であり、教示経路に従ってマニピュレータ 1 を運動させることで十分な精度を確保できる。

【0059】(iii) 修正行列  $T_{M,i}$  の逐次推定検出の際に生ずる誤差やノイズの影響により、検出毎に得られる修正行列  $T_{CT}$  は異なる値となる。従って、修正行列の信頼性を向上させるためには、複数の修正情報を用いて最適な修正情報を算出する。

【0060】

【外 25】

となる。

【0063】そこで、回転成分  $R_{M,i}$  は、

【数 23】

$$R_{M,i,11} = \cos(\theta_{M,Z,i}) \dots (23)$$

【数 24】

$$R_{M,i,21} = \sin(\theta_{M,Z,i}) \dots (24)$$

40

$$\theta_{M,Z,k} = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_{CT,Z,k}}{N} \quad \dots (26)$$

となる。

【0064】以上の結果、得られた最適な変換行列  $T_{M,1}$  を用いて、修正部7内の経路修正部15で教示経路関数の修正作業を実行する。この場合、本出願人による平成6年特許願第59122号に記載されているように、センサデータに位置だけでなく信頼度も考慮して、最適な変換行列を算出することも可能である。

【0065】既述の通り、教示経路関数  $P(s)$  は係数行列の形で経路・速度関数生成部14内に記憶されており、その係数行列の位置成分に対しては  $T_{M,1}$  を作用させ、姿勢成分に対しては  $R_{M,1}$  を作用させることでセンサ2の検出周期毎に修正経路  $P'(s)$  を逐次算出し、教示速度関数  $V(s)$  とともに軌道生成部16へ送出する。

【0066】軌道生成部16では、修正経路  $P'(s)$  と教示速度関数  $V(s)$  とを用い、効果器11が追従すべき目標速度  $L(t)$  を生成する。さらに、基準座標系で表した  $L(t)$  を逆運動学で解くことにより目標関節軌道  $\theta_{dm}$  ( $m=1, 2, \dots, 6$ ) をサーボ周期毎に算出し、サーボ部8において目標軌道とマニピュレータ1の関節位置情報  $\theta_m$  とから、マニピュレータ1の運動指令値をアンプ部9へ送出する。

【0067】以上の手順により、アンプ部9では運動指令値に基づき駆動力をマニピュレータ1へ与え、作業を遂行する。なお、本実施例においては、 $m=1, \dots, 6$  という6自由度に限定されたマニピュレータ1についての演算・制御方法を説明したが、それ以外の自由度を有するマニピュレータにおいても、同様の演算・制御方法で制御がなされることはいうまでもない。

【0068】(装置例2) 本発明の第2の装置例を図面につき説明する。図4は本装置例の構成を示すシステムブロック図である。図中、 $B'$  は本装置例のマニピュレータ用追従装置、 $Cb'$  はオフライン時の制御装置、 $7b''$  は修正部である。なお、図2に示す前記第1装置例と同一ブロックには同一符号を付し説明の重複を避けた。

【0069】(方法例2) 当該本装置例に適用する本発明の第2方法例につきその実行処理手順につき説明する。本装置例においては、図1に示すオフライン過程を共通前提とし、ただオンライン過程において実教示データと検出位置情報を対応づける際に、検出位置情報から算出される加工経路長に最も近接する実教示データを対応点として、修正情報を算出している点が異なり、他は前記第1方法例と同一手順を踏んで、実行され、この場

合においても、教示経路に対して修正関数を作用させた場合と同様の効果を得ることができる。

【0070】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、従来のように信頼性の高い動作指令修正手段を何等提供していないために、効果器の高精度な経路追従が阻害されることがなく、高信頼かつ高精度なマニピュレータ用追従装置および追従制御方法を提供できるなど優れた効用性、有用性を発揮する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1装置例の、オフラインでの操作を説明するシステム構成のブロック図である。

【図2】同上、オンラインでの操作を説明するシステム構成のブロック図である。

【図3】本発明の第1方法例における教示経路と実教示経路との対応づけ手順を説明する模式図である。

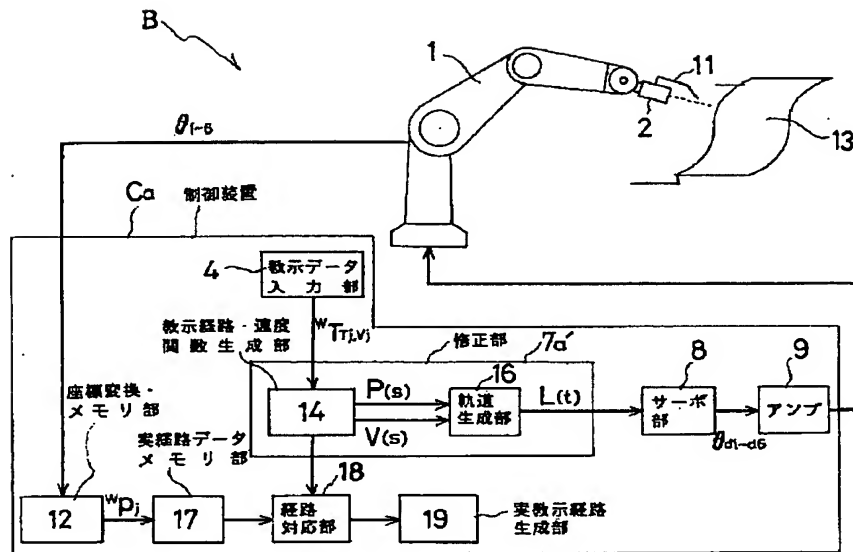
【図4】本発明の第2の装置例を示すシステムブロック図である。

【図5】従来の技術構成を示すシステムブロック図である。

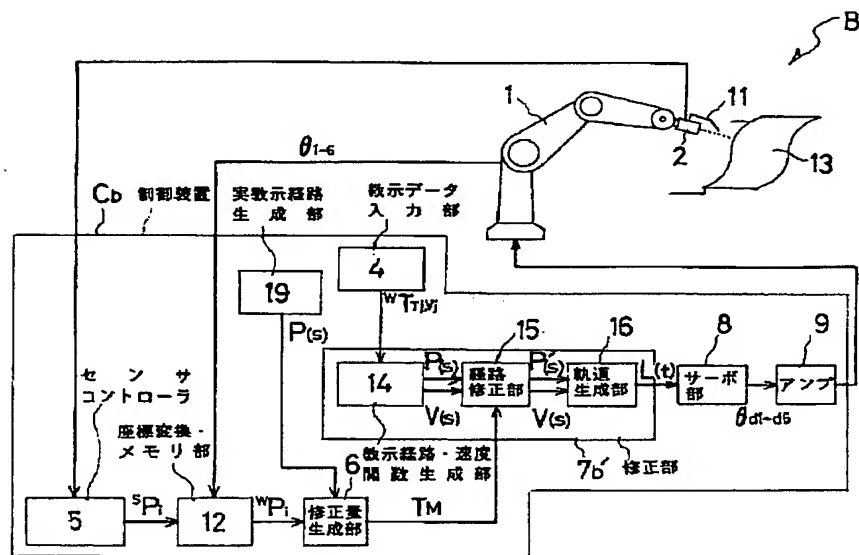
【符号の説明】

- A…制御装置
- B, B'…追従装置
- Ca…オフラインの制御装置
- Cb, Cb'…オンラインの制御装置
- 1…マニピュレータ
- 2…センサ
- 3…溶接トーチ
- 4…教示データ入力部
- 5…センサコントローラ
- 6…修正量生成部
- 7, 7a', 7b', 7b''…修正部
- 8…サーボ部
- 9…アンプ
- 10…溶接線
- 11…効果器
- 12…座標変換・メモリ部
- 13…加工ワーク
- 14…教示経路・速度関数生成部
- 15…経路修正部
- 16…軌道生成部
- 17…実経路データメモリ部
- 18…経路対応部
- 19…実教示経路生成部
- 20…教示データによって作成された経路
- 21…教示データ
- 22…加工経路

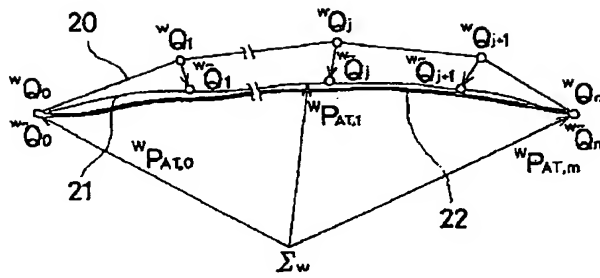
【図 1】



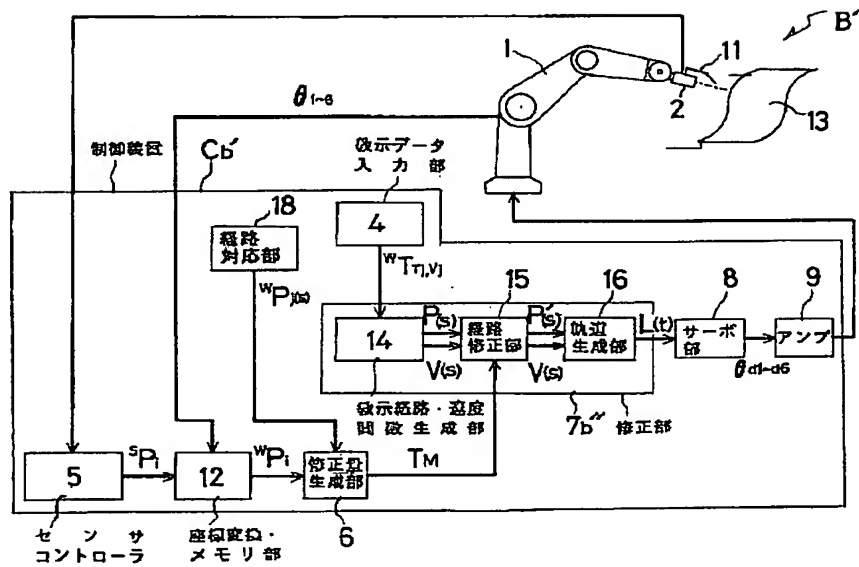
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図5】

